国产与进口高端电表性能差异及其测试技术研究

张春晖 [1]　张震 [2]

(1. 国 网 山 东 省 电 力 公 司 ， 山东 济南 250100;2. 华能济南黄台发电有限公司， 山东 济南 250100)

摘　要：电网关口计量是电网最重要的计量点，需要选用高端电表作为电网关口计量的主表。长期以来，尽管进口高端表计价位高于国产同类表计 8-10 倍，电网主管部门总是选用进口高端电表作为电网关口计量主表。经多年的实验室与现场负荷下的计量考核表明，进口高端电表计量误差控制很严，数据稳定，取得很好的口碑及信誉度。国产高端电表经过 20 多年的发展，已经统领国内电表市场，但是至今未能进入电网关口计量主表地位，成为电表行业发展的短板。如何推动国产高端电表进入电网关口计量主表地位，是电表行业规划设计的长远议题。

关键词：关口计量　电力系统

中图分类号：TM933.4

The performance difference between domestic and imported high-end electricity meters and the research on their testing technology

ZHANG Chunhui[1]　ZHANG Zhen[2]

(1. State Grid Shandong Elect Power Co Ltd,Jinan , Shandong 250100 , China;2.Huaneng Jinan Huangtai Power Generation Co. , Ltd. , Jinan , shandong 250100 , China)

Abstract: The metering at the grid gateway is the most important metering point in the grid, and high-end meters need to be selected as the main meters for metering at the grid gateway. For a long time, although the imported high-end meters are priced 8-10 times higher than domestic similar meters, the grid management department always selects imported high-end meters as the main meters for metering at the grid gateway. After years of measurement assessment in the laboratory and on site, it is shown that the imported high-end meters have strict metering error control, stable data, and good reputation and creditworthiness. After more than 20 years of development, domestic high-end meters have dominated the domestic metering market, but they have not yet been able to enter the main metering position at the grid gateway, which has become a shortcoming in the development of the metering industry. How to promote domestic high-end meters to enter the main metering position at the grid gateway is a long-term topic for planning and design in the metering industry."

Key words:Measurement at the gateway　power industry

0 引言

电网关口计量是电网最重要的计量点，按电力行标的要求，需要配置主、付两只电能表计量。装机容量为100万千瓦的发电机组或输送电流1200安及以上的1000千伏交流特高压线路，在正常运行状态（正弦波、长周期负荷波动）下，其年发电量或年输送电量超过60亿千瓦时，电网关口计量表计有微小的计量变差，如表计有0.05%的计量误差，将产出年电力贸易结算电费±100万元以上的波动。

长期以来，尽管进口高端表计价位高于国产同类表计8-10倍，电网主管部门总是选用进口高端电表作为电网关口计量的主表。经多年的实验室与现场负荷下的计量考核表明：进口高端电表计量误差控制很严，数据稳定，取得很好的口碑及信誉度。相应的国产高端电表经过20多年的发展，已经统领国内电表市场，但是至今未能进入电网关口计量主表地位，成为电表行业发展的短板。如何推动国产高端电表进入电网关口计量主表地位，是电表行业规划设计的长远议题。

为此，2006-2007年间，由威胜集团公司、郑州万特公司、重庆市电科院和本文作者合作进行国产与进口高端电表品质测试技术研究。2008年，郑州万特公司在国内首先推出三相多功能电表品质试验装置。2009—2010年，重庆市电科院首次向国家电网公司报送《关口电能表性能测试报告》并发表《关口电能表性能测试技术初探》文稿。同时，威胜集团公司研发出0.1S级三相多功能电表，并在电网进行批量应用。

鉴于国产高端电表品质技术走向国际高水准的需求，由《现代电网量测技术合作研究平台》于2014年（长沙）、2015年（银川）两次召开《电网关口计量主表全性能研究》课题技术交流会议。作为第一步，交流、讨论国产与进口高端电表性能差异及其测试技术研究初步成果。

一、电网关口计量主表计量性能测试与分析

1、重庆市电科院：《关口电能表性能测试报告》

经对多款关口电能表进行性能测试、比较，其中某型关口电能表具有的计量性能：

1）从0.05%In到最大量程内，基本误差曲线平坦，测量误差＜0.05%。各功率因数下，测量误差＜0.08%

2）无功测量高精度，达到0.5级要求，超过现行IEC无功电表标准。

3）极低功率因数，例如相位在90°±0.5°时，测量误差＜1%。说明功率因数＜0.25时，进行误差调整与控制。

4）从0.05%In到最大量程的双向计量精确。

5）但是，某型关口电能表的过载、高电压特性稍差。

2、威胜集团公司：《某型关口电能表分析》。

该型关口电能表设计特征：

1）计量方案，在电力负荷、相位改变时，控制高精度测量的线性度。

2）电源方案，三相PT和辅助电源同时供电，经一相PT或辅助电源正常，电表即可运行。

3）停电状态，电表内置超级电容，可支持时钟和停电抄表30天；如选配锂电池可支持10年。

4）管理方案，实现表计高级多功能；测量系统与通信系统完全独立。

5）液晶及按键：（略）

6）采用长寿命、高稳定的品牌元器件

7）电表结构设计

·电路板有多块，便于电表系列产品开发

·电路板采用卡口结构，无金属固定螺丝

·面接触式的接线端子设计

3、会议指出：

从《关口电能表性能测试报告》可以看出：某型关口电能表在全口径电流测量、0-360°相位范围内，具有优良的计量特性，可以作为国产高端电表设计开发的参考。这方面，威胜发表的文稿《复化 Newton-Cotes 积分算法在电能计量中的应用》、《一种高精度动态的角差补偿算法》，为平坦基本计量误差曲线和控制极低功率因数下的计量误差，提供了经验。

二、电子式电表可靠性技术深化应用研究

1、重庆市电科院：《智能电表可靠性技术研究进展》

1）目前，国内常用 IEC62059-41 标准，对开展电表可靠性预测工作具有指导意义，但是各种元器件的基本失效率获得存在较大的问题；GJB/Z299C 给出的基本失效率是基于元器件类别的通用失效率，缺乏可信性。

2）考虑到 IEC62059 的可操作性差的问题，重庆院提出简化的电表可靠性评估试验方法，主要是：仅选取 IEC62059 规定的 5 组试验环境应力中的 1 组（温度 75℃、湿度 85%）；试验过程额外施加电压电流（分阶段变化）、短时过电压和电源中断（30 次）、谐波负荷（分阶段施加）、通信等电应力条件。试验时间控制在 45 天。

2、威胜集团公司：《IEC61709-2011 失效率和应力模型转换用的电气元器件可靠性参比条件》标准简介

与中国 GJB/Z299C《电子设备可靠性预计手册》或美国军用手册（MIL-HDBK-217F）相比，IEC61709 标准指导性与通用性更强。

3、会议指出：本次会议解读 IEC61709-2011 和介绍国内智能电表可靠性技术研究进展，在电表行业还是首次：

1）经考证，GB/T 17215、941-2012/IEC62059-41：2006 的重点，一是智能电表可靠性预测的应力模型，就是参比条件下的失效率转化为工作条件下失效率的元器件应力模型，主要参照 IEC61709；另一是元器件失效率数据，参考数据手册主要有西门子规范 SN29500 元器件失效率和 IEC62380-2004 可靠性数据手册（电子组件、PCBS 和设备的可靠性预测用通用模型）。由此可见，国际上已经形成较完整的电表可靠性预测系列标准。

据了解，目前国内智能电表可靠性预测应用研究，主要参照 GB/T17215、941-2012/IEC62059-41：1996 和 GJB/z299C，其组合应用水准与国际上电表可靠性预测系列标准还有较大差别。

4、威胜集团公司与西门子公司合资的施维公司：《西门子：元器件预计失效率标准 SN29500 概要》

1）SN29500 是西门子公司于 1978 年制定的内部标准，研究提出元器件预计失效率，适用于电信、无线通信系统。该标准为制定 EN/IEC61709 标准提供基础数据（信息）。

注：IEC61709-2011 失效率和应力模型转换用的电气元器件可靠性参比条件

2）SN29500 由总则、集成电路、分立半导体、无源元器件、电气连接、电和光接头和插座、继电器、开关和按钮、信号和指示灯、触点、半导体信号接收器、[发

光二极管（LED）、红外发光二极管（IRED）和半导体激光器]、光耦合器和挡光板等部分组成。

3）失效率（λ）：产品在给定的时间间隔内发生不可修复故障的累计次数，单位 FIT（Failure in time 10^{-9} Failures/h）。

元器件失效率由其在参比条件下的失效率与电压、电流、温度关系因子的乘积求出，这些参数以列表形式存入 SN29500 信息库。

SN29500 还给出电压、电流关系因子的计算式。

单位产品失效率由各元器件串行失效率累加求出。

4）可靠度 R（t）：产品运行到一定时间后的产品功能完好概率：

R（t）=$e^{-\lambda t}$

SN29500 给出产品的可靠度与运行时间（h）的对应关系表，例如：产品可靠度下降到 97%，对应的产品运行时间为 15.3184 年。

注：据正泰仪器仪表公司文稿《DDZY666 智能电表可靠性设计》：IEC62059-41 是目前专门针对电能表可靠性的国际标准,其应力数据源来自于西门子 SN29500 标准。SN29500 是专门针对工业、医疗和民用电子产品的，每 2 年更新一次，数据较为可靠，目前 OFGEM（英国燃气和电气行业监管机构）采用 SN29500 开展电能表可靠性评估。

在智能电表内，往往使用由专门委托定制的部件，例如外壳及五金件、LCD 显示器、锂离子电池等。这些元器件的参数，可能在 SN29500 标准内查不到，需另作严格慎重处理。

5、、会议认为：

1）西门子公司 SN29500 是国际上广泛应用的工业、医疗、民用电气/电子产品元器件失效率标准，本次会议在国内首次提出深入开展 SN29500 标准的研究与应用，目的是推进 IEC62059-11/21/31/
41/51 和相应国际《电测量设备　　可信性》的实施，推进电表企业/部门建立起相对完整的电能表可靠性技术体系，适应国网严格智能电表质量管控的要求，提升出口电表国际竞争力。为此，会议建议：重庆电科院、威胜集团公司在 SN29500 应用研究方面重点抓好下列项目：

·收集并翻译 IEC62059 标准在可靠性领域的引用国际标准（12 项），特别是 SN29500、IEC61709 标准。

·加快智能电表、终端元器件失效率数据库的建设。要以 SN29500 标准为基线，将国产/进口元器件失效率分档次建库引用。

·按照实用可信的原则，开展智能电表可靠性预计与可靠性验证测试两类多种方法的比较、研究，选出典型方法。

·根据国内电网的实际需求，研究绘制出智能电表可靠度与运行年限的关系曲线/表格，为智能电表使用寿命评估提供依据。

·采用反证法，开展进口高端电表与国产同类电表可靠性实际水准的测试、比较，具体方法另行研究。

·参照兰吉尔公司电能表可靠性标准体系（ALEG），研究提出中国电表企业电能表可靠性技术体系架构及内容。

三、三相多功能电表软件测试技术拓展

1、威胜集团公司：《智能电能表软件测试技术》

电表软件的灰盒测量是介于黑盒测试与白盒测试之间的一种软件测试验证方法。

威胜在灰盒测试方面，自主研发故障注入测试装置，模拟现场经常出现表计受到强幅射、强干扰后，MCU 异常复位的故障情况。还在逐步的探索过程：例如时钟/

计量芯片数据线路的错误、中断、恢复；时钟电池/外部电池电压的模拟变化与中断、恢复；电能表上电、复位信号的干扰与模拟。

由于这部分方法与电路设计关系很大，各厂家通用性不强，例如SOC集成了计量与时钟，没有外部线路。

2、会议认为：

智能电表软件测试是国网智能电表质量保障措施研究的重点，也是难点，难在软件测试、评估缺乏统一方法。会议期望威胜汇总多年来积累的现场故障处理经验，分析共性与个性案例，提出较为完善的表计软件灰盒测试技术；同时，会议研究将在本课题合作范围内开展智能电表及读表网络软件架构设计与评价的交流，期望提升国产智能电表软件开发、应用水准。

四、参考件

1、威胜集团公司：《关口电能表计量稳定性研究》

计量稳定性是关口电能表在一定条件下的计量精度保持在允许范围内的可能性，是电能表可靠性的一种延伸，是最重要的计量考核指标之一。

关口电能表计量稳定性的设计思路：

1）电压、电流采样电路稳定性分析

·ADC输入信号，要与重视采样电阻一样的重视滤波电路电阻的稳定性。

·电压采样电路的串联电阻、并联电阻要选用同材质、同厂家、同配方电阻。

·电流采样输出端分压电阻的稳定性直接影响电流采样的稳定性。

·电流互感器（CT）加速应力实验可以发现，同一台CT配置的一次采样电阻越大，实验后误差改变越大，且成正比。

·厚膜电阻不适用于作为采样电路元器件。

·薄膜电阻的膜温越低，其阻值随时间变化越小，确保关口表在极限运行状态下至少有30%的温度裕度。

·电阻阻值随时间都是逐渐变大。

2）计量关键元器件验证：

·通过分析关口电能表计量误差的组成和稳定性目标，有针对性的进行验证试验。

·影响计量误差稳定性的元器件有：ADC、基准、电流采样电阻，电压分压电阻，RC电路电阻，RC电路电容，印制板。

·表计可靠性的加速试验，适用于关口电能表计量稳定性分析。

·案例：选定电阻做高温寿命试验和耐湿热试验方法：（略）

3、生产工艺设计

·助焊剂残留控制

威胜MA2表整个电装全工序（SMT，波峰、手焊）板件表面残留控制范围：<10ug NaCl/sq，且通过自动三防覆膜对印制板进行有效保护。

·走字筛选

电能表在生产车间的时间属于早期失效期，将走字时间加长。威胜MA2表大负载走字20天，在走字和出厂前复检精度。

4）计量稳定性验证

借鉴可靠性研究中通过施加外部应力的方式加速实验的方法，用于验证计量的稳定性。

案例：2000h/70℃/95%湿度高温高湿验证威胜MA2表计误差曲线（略）。

威胜 MA2 关口电能表经过现场试挂，长期模拟走字、2000h 高温高湿影响实验，电应力冲击实验等考核手段，证明其具有非常高的计量稳定性。

5）关口电能表计量稳定性按计量精度在 0.2S 的 50%以内是合理的。

2、江苏省电科院、威胜集团公司：《基于 EEPROM 数据读写的智能电表白盒测试方法》

3、重庆市电科院、威胜集团公司：《基于层次分析法的智能电表软件质量评价》

结语

本文叙述由本文作者发起组织的《中国现代电网量测技术合作研究平台》，近两年开展国产与进口高端电表性能差异及其测试研究情况，参考件是本文内容的补充，取自威胜集团公司、重庆市电科院在专业期刊上发表的文稿。下一步将继续合作深化这方面的探索。

1）电网关口计量主表性能测试技术再研究

·计量性能测试技术，主要是计量稳定性考核方法，按 IR46 要求进行极低负荷计量误差定量测试及表计组合误差测试。

·电表可靠性技术，采用 IEC61709 和 SN29500 标准进行电表可靠性预测研究应用

·进口高端电表设计特征研究

2）鉴于 IEC 尚未制定高品质、三相多功能电表标准，建议由省级电网电科院、大型电表企业和本文作者合作研究：参照进口高端电表品质水准，提出电网关口计量主表实用技术要求。

3）倡导电表行业向高端计量发展，大型电表企业与电网主管部门都要有行业担当，大型电表企业要增加电网关口计量主表的开发人才与资金投入，研发出具有国际高端电表质量水准的国产高端电表。电网主管部门要安排国产高端电表与进口高端电表并列挂网运行，进行表计比对测试、考核与技术改进。期望国产高端电表早日进入电网关口计量主表地位。

参考文献

[1] 杨翠芳 DT/SSD205 三相电子式多功能电度表在电能计量中的开发与应用 《科技信息》- 2012-12-05

作者简介：　张春晖　男，　(1938-)，　从事电能计量技术研究。

通讯作者：　张震　男，　(1977-)，　从事电能计量技术研究　721047546@qq.com